

SISTEM KEAMANAN BARANG BERHARGA DENGAN *MONITORING* MELALUI JARINGAN SELULER

Yansen J.¹, Dali S. Naga² dan Tjandra Susila³

Abstract: Museum as a place for high value historical things don't free from criminality factor. Some museum doesn't has good enough security system, such as passive security guard. Every room in a museum installed with some security camera, this means it must be controlled by more than one security guard. The controlling activity becomes not easy and make the room security disturbtion can't be known actually. These system are the automation system for controlling the position for security camera only when disturbtion happen and giving this information via Short Message Service (SMS). This system uses the arrangement of sensor that like matrix with two height level and works randomize. If the sensor getting disturb, stepper motor changes the horizontal position of camera for the direction where group of coupled sensor being disturbed. This security system uses eight assumption of area that is separated in 45°, so it needs to change motor position 25 step. Based on the verification process, the system can change the camera position to the target correctly and send the information via SMS.

Keyword : automation, horizontal position of camera, SMS

Abstrak: Museum sebagai tempat penyimpanan benda-benda bersejarah bernilai tinggi tidaklah terlepas dari tindakan kejahatan. Beberapa museum masih mempunyai sistem keamanan yang kurang baik, seperti petugas keamanan yang jumlahnya relatif sedikit dan lebih bersifat pasif. Setiap ruang pameran museum dilengkapi dengan beberapa kamera pengawas sehingga membutuhkan kegiatan pengawasan oleh beberapa petugas. Hal ini tentu merepotkan kegiatan pengawasan dan juga menyebabkan informasi gangguan keamanan tidak dapat diketahui secara cepat. Sistem tersebut merupakan otomatisasi untuk mengontrol pergerakan kamera pengawas pada saat terjadi gangguan keamanan dan memberikan informasi gangguan tersebut melalui layanan pesan singkat. Pada daerah sekitar etalase, sistem ini menggunakan susunan sensor berbentuk seperti matriks dengan dua tingkat ketinggian dan bekerja secara random. Apabila sensor menerima gangguan, maka motor stepper mengubah posisi horizontal kamera menuju ke arah tempat kelompok pasangan sensor yang terganggu. Sistem keamanan ini menggunakan delapan asumsi untuk daerah perpotongan yang terpisah satu sama lain dalam sudut 45° sehingga membutuhkan jumlah perputaran motor sebanyak 25 step. Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem telah dapat mengubah posisi kamera menuju ke arah target dengan benar, dan informasi gangguan dapat dikirimkan melalui layanan pesan singkat.

Kata kunci : otomatisasi, posisi horizontal kamera, layanan pesan singkat.

PENDAHULUAN

Museum sebagai tempat penyimpanan benda-benda bersejarah yang bernilai tinggi tidaklah terlepas dari tindakan kejahatan. Oleh karena itu, keamanan terhadap benda-benda bersejarah di museum harus terus ditingkatkan karena benda tersebut merupakan bukti peninggalan sejarah yang tidak dapat diproduksi ulang. Salah satu benda bersejarah yang dipamerkan di museum dapat dilihat pada Gambar 1. Begitu juga dengan barang-barang berharga lainnya seperti perhiasan antik yang sering dipublikasikan dalam ruang pameran di museum. Keamanan dalam sebuah ruang pameran museum tidak dapat hanya mengandalkan petugas keamanan saja, tetapi juga harus dilengkapi dengan kamera keamanan, *alarm*, dan sebagainya.

Teknologi telekomunikasi saat ini telah berkembang dengan pesat terutama pada bidang komunikasi *mobile*. Hal tersebut dapat dilihat melalui semakin banyaknya jumlah pengguna layanan seluler untuk berbagai macam aplikasi layanan. Penggunaan telepon seluler yang umum dalam kehidupan masyarakat tidak hanya sekedar untuk *trend*, bisnis, maupun hanya kebutuhan komunikasi saja. Telepon seluler saat ini dapat dikatakan telah menjadi salah satu bagian dari kebutuhan primer, dimana hampir semua orang memilikinya.



Gambar 1. Benda Bersejarah di Museum

¹ Jurusan Teknik Elektro Universitas Tarumanagara

² Jurusan Teknik Informatika Universitas Tarumanagara

³ Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti

Berdasarkan survei yang dilakukan di Museum Nasional Indonesia (Museum Gajah) dapat diperoleh informasi bahwa museum tersebut mempunyai sistem keamanan yang masih kurang baik. Pemanfaatan etalase masih banyak yang belum menggunakan pembatas seperti terlihat pada Gambar 2, dan bahkan terdapat beberapa benda yang langsung dipamerkan pada lantai museum. Pengunjung dapat dengan bebas mendekati benda yang dipamerkan tanpa adanya tanda peringatan secara langsung bagi pengunjung yang melewati pembatas. Hal ini tentu dapat menyebabkan koleksi barang berharga mudah terjamah oleh para pengunjung dan bahkan berpeluang memicu tindakan kejahatan.



Gambar 2. Etalase Tanpa Pembatas

Penyediaan petugas keamanan yang masih relatif sedikit dan lebih banyak bersifat pasif daripada mengawasi juga memberikan dampak negatif terhadap keamanan museum. Museum tentu saja memiliki beberapa ruangan dalam memamerkan koleksinya. Setiap ruang pameran dilengkapi dengan beberapa kamera keamanan atau kamera pengawas yang di-*monitoring* melalui ruang pengawasan. Ruang pameran museum dengan beberapa kamera keamanan dapat diperlihatkan pada Gambar 3. Petugas dalam ruang pengawasan harus memperhatikan setiap *monitor* yang terhubung pada setiap kamera dan informasi gangguan keamanan diberikan melalui radio komunikasi. Hal tersebut tentu merepotkan kegiatan pengawasan dan mengakibatkan petugas tidak dapat mengetahui secara cepat gangguan pada keamanan sebuah ruangan. Selain itu, kegiatan pengawasan yang dilakukan hanya berupa pengecekan rutin sesaat saja pada setiap ruangan.



Gambar 3. Ruang Pameran Museum dengan Beberapa Kamera Pengawas

Suatu sistem keamanan barang berharga dengan *monitoring* melalui jaringan seluler yang diharapkan dapat mempermudah kegiatan pengawasan oleh petugas, namun tetap mampu memberikan solusi peningkatan keamanan. Perancangan alat ini berfungsi dalam memantau dan meningkatkan keamanan terhadap barang berharga yang terletak pada sebuah etalase dalam sebuah ruang pameran. Alat yang dirancang bersifat otomatisasi sistem keamanan untuk barang berharga yang berbasis mikrokontroler dan komputer. Pada daerah sekitar etalase digunakan beberapa sensor yang disusun sedemikian rupa seperti berbentuk matriks dan bekerja secara random. Apabila sensor menerima gangguan atau halangan, maka posisi horizontal kamera berubah menuju ke arah tempat kelompok pasangan sensor yang terganggu dan disertai aktifnya tanda peringatan. Selain itu, otomatisasi juga dilakukan terhadap penyampaian informasi gangguan keamanan yang melalui layanan pesan singkat.

KAJIAN PUSTAKA

Alat ini menggunakan sistem keamanan barang berharga dengan *monitoring* melalui jaringan seluler yang berfungsi dalam memantau dan meningkatkan keamanan terhadap barang berharga yang terletak pada sebuah etalase dalam sebuah ruang pameran. Jumlah ruangan dibatasi hanya satu ruangan saja dan terbatas hanya memiliki sebuah etalase saja. Pada daerah sekitar etalase terdapat pasangan sensor yang disusun sedemikian rupa sehingga berbentuk seperti matriks.

Peletakan pasangan sensor disusun berdasarkan dua tingkat ketinggian dari dasar. Pasangan sensor yang diberi tanda dengan warna biru terletak lebih rendah daripada sensor yang diberi tanda dengan warna merah.

Sensor dengan tanda warna yang sama berada pada tingkat ketinggian yang sama atau bersifat sebidang. Jarak antarsensor diasumsikan relatif rapat. Oleh karena itu, pemancar dari sensor tersebut harus dapat menghasilkan cahaya dengan berkas yang tidak menyebar. Perancangan tersebut menggunakan laser sebagai pemancar karena memiliki intensitas cahaya tinggi dan dengan berkas cahaya yang tidak menyebar.

Sistem keamanan ini menggunakan kamera tunggal yang diletakkan pada bagian atas dari etalase. Fungsi dari kamera tersebut adalah sama dengan fungsi kamera keamanan atau kamera pengawas pada aplikasi suatu sistem keamanan. Apabila sensor menerima gangguan atau halangan maka motor *stepper* mengubah posisi horizontal kamera menuju ke arah tempat kelompok pemasangan sensor yang terganggu. Pada rancangan ini posisi vertikal dari kamera bersifat tetap.

Perancangan dan implementasi sistem keamanan ini meliputi dua bagian utama, yaitu bagian *monitoring* untuk memantau kondisi keamanan ruang pameran, dan bagian keamanan untuk meningkatkan keamanan dari barang berharga yang dipamerkan. Konsep rancangan bagian keamanan dari sistem ini telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Sedangkan bagian *monitoring* berfungsi dalam memantau kondisi keamanan ruang pameran melalui ruang pengawasan. Pada bagian ini digunakan komputer sebagai pusat pengolahan data. Komputer tersebut berhubungan dengan mikrokontroler yang terdapat pada bagian keamanan. Program aplikasi digunakan untuk memantau kondisi keamanan ruang pameran. Melalui program tersebut dapat diperoleh informasi apabila terjadi gangguan pada sensor atau terjadi gangguan pada daerah batas. Komputer juga berfungsi dalam memantau kondisi keamanan ruangan melalui penggunaan kamera pengawas. Hasil rekaman dari kamera ditampilkan pada layar *monitor* dan juga dapat disimpan pada memori komputer.

Sistem yang dirancang ini juga menggunakan *monitoring* melalui jaringan seluler dengan mengirimkan pemberitahuan berupa pesan singkat pada saat pemasangan sensor menerima halangan. Hal tersebut dilakukan untuk memberikan informasi secepatnya kepada petugas keamanan sehingga kegiatan penanganan masalah dapat segera dilakukan. Pesan dikirimkan oleh komputer melalui modul komunikasi GSM kepada dua nomor ponsel tujuan atau *user*.

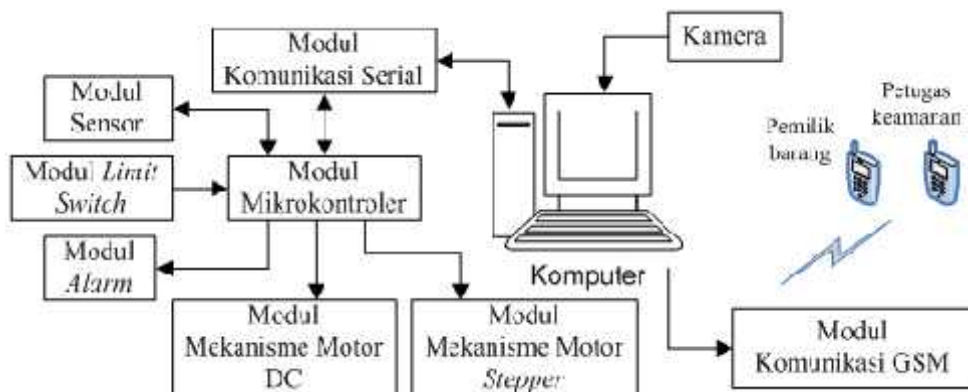
Sistem tersebut menggunakan modul mikrokontroler untuk mengontrol modul sensor, modul *alarm*, dan motor. Mikrokontroler berfungsi mengaktifkan tanda peringatan melalui modul *alarm*. Apabila *limit switch* pada daerah batas tertekan, tanda peringatan aktif dan motor DC menggerakkan landasan etalase ke bawah. Landasan tersebut kembali pada posisi semula apabila tombol *reset* sistem difungsikan. Putaran motor DC tersebut dibatasi oleh *limit switch* bagian atas dan bawah.

Komputer mengirimkan data hasil random kepada mikrokontroler untuk mengontrol bagian pemancar dari modul sensor. Kemudian mikrokontroler membandingkan kesesuaian antara data masukan dari bagian penerima pada modul sensor dengan data yang diterima dari komputer. Apabila terjadi perbedaan, maka mikrokontroler mengirimkan data sensor yang menerima gangguan. Komputer mengkalkulasi data perputaran motor *stepper* yang digunakan oleh mikrokontroler untuk mengontrol putaran motor. Mikrokontroler juga berfungsi menerima input dari *limit switch* sebagai penanda posisi awal motor.

Mikrokontroler membutuhkan suatu modul sebagai penghubung arus dan tegangan keluarannya untuk mengontrol setiap motor. Hal ini dikarenakan arus dan tegangan keluaran mikrokontroler tidak mencukupi kebutuhan motor. Rancangan sistem ini menggunakan motor DC dan *stepper* sehingga dibutuhkan modul mekanisme tersendiri untuk kedua jenis motor tersebut. Mikrokontroler berkomunikasi secara serial dengan komputer melalui antarmuka modul komunikasi serial. Modul ini digunakan untuk menjembatani tegangan keluaran *port* serial komputer dengan tegangan yang dibutuhkan oleh mikrokontroler, begitu juga sebaliknya.

Diagram Blok Rancangan

Diagram blok perancangan dan implementasi sistem keamanan barang berharga dengan *monitoring* melalui jaringan seluler diperlihatkan pada Gambar 4. Modul lain yang tidak terdapat pada diagram blok tersebut adalah modul catu daya yang merupakan sumber tegangan dan arus bagi keseluruhan rangkaian.



Gambar 4. Diagram Blok Rancangan

Sistem Laser

LASER merupakan singkatan dari *Light Amplification by Stimulated Emissions of Radiation* atau dapat diartikan penguatan cahaya dengan stimulasi emisi radiasi. Laser ideal terbentuk dari suatu kumpulan foton dengan frekuensi sama dan juga sefase. Sifat kesamaan frekuensi menghasilkan sifat monokromatis, dan sifat yang terjadi akibat kesamaan fase adalah koherensi, sehingga syarat terbentuknya laser adalah sumber cahaya yang monokromatis dan koheren. Pada kenyataannya laser tidaklah dapat bersifat koheren murni dan monokromatis murni. Secara umum karakteristik sistem laser yang sebenarnya adalah sefase pada awalnya dan sifat inkoheren terjadi karena sifat monokromatis yang jelek dari sumber. Hal ini berbeda dengan sumber cahaya biasa yang mengemisikan cahaya dalam berbagai arah atau bersifat menyebar.

Prinsip perambatan cahaya laser tidak jauh berbeda dengan prinsip perambatan cahaya tampak. Sebagai gelombang datar, cahaya tersebut memiliki sifat refleksi atau pemantulan dan refraksi atau pembiasan. Cahaya ini dapat dipantulkan apabila mengenai cermin, dan dapat menembus bahan seperti kaca. Sebagai gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi, transmisi data melalui cahaya laser membutuhkan kondisi *Line of Sight* (LOS) antara pemancar dan penerima. Cahaya yang dipancarkan merambat menurut garis lurus dan harus tanpa halangan agar data diperoleh dengan baik pada bagian penerima.

Penerapan komunikasi dengan gelombang cahaya pada kenyataannya tidak terlepas dari gangguan interferensi seperti yang sering terjadi pada komunikasi melalui gelombang radio. Interferensi cahaya dari lampu dan sinar matahari yang ada di sekitar rangkaian sensor dapat mempengaruhi kinerja dari sistem sensor tersebut. Pengaruh cahaya sekitar tersebut dapat dikurangi melalui beberapa cara, seperti penyekatan detektor dari sumber lain, pemilihan sumber dengan intensitas radiasi yang sesuai kebutuhan, penggunaan detektor dengan sensitivitas tinggi, dan sebagainya.

Sensor Photoelectric

Sensor adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mengubah suatu besaran fisik tertentu menjadi besaran listrik yang sebanding, sehingga dapat dianalisis melalui suatu rangkaian listrik. Sensor *photoelectric* merupakan peralatan yang berguna untuk mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Prinsip kerjanya adalah mengubah energi dari foton menjadi aliran elektron.

Photoelectric sensing menggunakan sumber cahaya dan sensor *photoelectric* sebagai detektor. Tiga mode dasar dalam aplikasi ini adalah *opposed*, *retroreflective* dan *proximity* [5]. Alat ini menggunakan aplikasi *photoelectric sensing* dengan mode *opposed*. Sistem laser yang digunakan sebagai transmisi data hanya memanfaatkan pancaran cahaya laser.

Sensor cahaya dapat berupa suatu struktur bahan semikonduktor yang mampu mendeteksi cahaya yang dikirimkan oleh sumber. Komponen semikonduktor yang dapat menjalankan fungsi tersebut adalah *photodiode* dan *phototransistor*. Rancangan alat ini menggunakan *phototransistor* sebagai detektor cahaya laser karena memiliki tingkat sensitifitas yang tinggi.

Phototransistor merupakan kombinasi terintegrasi dari konsep *photodiode* dan transistor n-p-n dengan arus yang diinduksikan oleh *photoelectric effect* adalah arus basis transistor. Berdasarkan gambar simbol skematik *phototransistor*, terlihat bahwa basis dalam keadaan terbuka. Hal ini merupakan suatu teknik yang sering digunakan dalam mengoperasikan *phototransistor*. Tingkat sensitifitas terhadap cahaya yang diterima dapat dikendalikan melalui tahanan basis yang variabel atau sering disebut dengan *base return transistor*. Tetapi biasanya basis dibiarkan dalam keadaan terbuka dengan alasan untuk mendapatkan sensitifitas maksimum pada saat terkena cahaya.

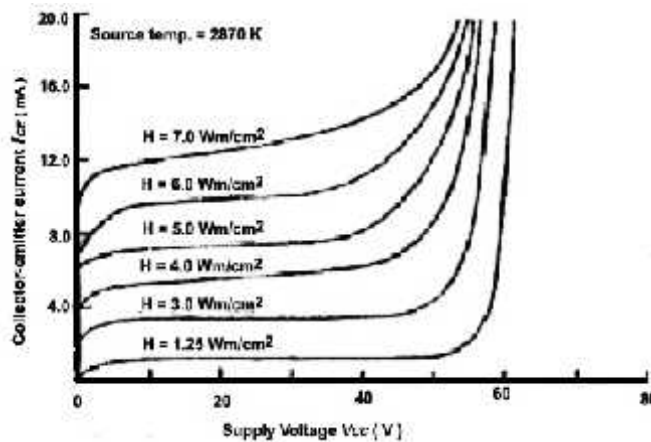
Keluaran *phototransistor* pada saat basis dalam keadaan terbuka atau *floating base* dibiaskan dalam daerah aktif. Elektron yang dihasilkan dapat mengalir dari kolektor ke *emitter* apabila sumber tegangan dihubungkan dengan bagian kolektor. Arus pada kedua bagian transistor tersebut hanya dapat diubah dalam batasan tertentu saja karena tingkat penguatan transistor yang relatif besar. Karakteristik umum dari sebuah *phototransistor* dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan kurva karakteristik tersebut dapat diperoleh informasi bahwa arus pada bagian kolektor semakin membesar apabila terjadi peningkatan intensitas cahaya yang diterima.

Bagian penerima dari sensor menggunakan detektor yang berupa *phototransistor*. *Phototransistor* dipilih karena memiliki tingkat sensitifitas yang lebih baik daripada *photodiode*. Selain itu, *phototransistor* jenis ini mudah didapat di berbagai tempat penjualan komponen elektronika. Gambar 3.8 merupakan gambar dari *phototransistor* yang digunakan.

Komunikasi Data Serial

Komunikasi data secara serial menawarkan cara transmisi data yang lebih mudah dikendalikan apabila dibandingkan dengan komunikasi secara paralel. Transfer data secara serial mengirimkan data sebanyak satu bit pada suatu waktu melalui kawat tunggal. Salah satu keuntungan cara transfer data tersebut adalah jumlah kabel yang digunakan lebih sedikit [1]. Namun, sebagai konsekuensinya mengakibatkan kecepatan pengiriman data relatif lebih lambat. Gambar Sistem komunikasi serial dapat bersifat sebagai komunikasi *simplex*, *half duplex*,

dan *full duplex*. Port serial yang terdapat pada komputer biasanya berfungsi sebagai *port duplex* penuh. Komunikasi ini menawarkan solusi komunikasi sinkron dan asinkron dalam membedakan kepemilikan data dari serangkaian data yang ditransmisikan. Pada komunikasi sinkron digunakan sinyal sinkronisasi yang berupa sinyal transisi dari rendah ke tinggi atau sebaliknya. Sedangkan pada komunikasi asinkron menggunakan penetapan kecepatan bit dan penyisipan bit protokol.



Gambar 5. Karakteristik Bagian Kolektor [2]

Komunikasi data dengan *port* serial pada komputer dapat dilakukan menggunakan standar RS-232. Standar tersebut merupakan standar yang mengatur mengenai *level* tegangan sinyal, konektor, dan aturan hubungan komunikasi antara *Data Terminal Equipment* (DTE) dengan *Data Circuit Terminating Equipment* (DCE). Standar ini mencakup komunikasi data antara komputer yang biasanya berperan sebagai DTE dengan instrumen pelengkap komputer sebagai DCE. Laporan tugas akhir tersebut hanya membahas mengenai aturan standar RS232 untuk melakukan komunikasi antara komputer dengan mikrokontroler.

Penggunaan *level* tegangan yang berbeda antara mikrokontroler dengan *port* serial pada komputer mengakibatkan konverter tegangan mutlak diperlukan diantaranya. Konverter tersebut menganggap *level* tegangan dari +5 sampai +15 volt sebagai *level* tegangan 0, dan level antara -5 sampai -15 volt dianggap sebagai *level* tegangan 1. Daerah antara -3 sampai +3 volt tidak didefinisikan karena berpotensi menghasilkan *noise*. Selain itu juga terdapat *noise margin* masing-masing sebesar 2 volt.

Level biner 1, yaitu tegangan TTL diatas 2 volt, diubah menjadi sebesar -15 volt pada format RS232. Sedangkan *level* biner 0, yaitu tegangan dibawah 0,8 volt, dikonversi menjadi +15 volt. Demikian juga sebaliknya, kisaran tegangan pada +3 sampai +15 volt diubah menjadi *level* tegangan TTL 0 volt, dan kisaran tegangan -3 sampai -15 volt diubah menjadi *level* tegangan TTL 5 volt.

Penggunaan aturan untuk *level* tegangan sinyal dimaksudkan agar pada jarak yang relatif panjang, *level* tegangan sinyal masih lebih dominan daripada *level noise*. Panjang kabel maksimum tidak lagi menggunakan ukuran panjang melainkan melalui penentuan nilai kapasitansi yang tidak melebihi 2500 pF, dan kecepatan transmisi data tidak lebih dari 20 kbps.

Sistem keamanan tersebut menggunakan modul komunikasi serial untuk berhubungan antara mikrokontroler dengan komputer. Modul tersebut berfungsi untuk menjembatani tegangan antara mikrokontroler dengan komputer. Komponen *chip* yang digunakan adalah MAX232 keluaran MAXIM. *Datasheet* IC tersebut dapat dibaca pada bagian Lampiran 3. *Chip* tersebut dipilih karena memiliki kemampuan untuk mengubah *level* tegangan dalam format RS-232 menjadi *level* tegangan dalam format TTL yang merupakan tegangan kerja mikrokontroler. MAX232 memiliki dua pasang konverter tegangan dari *level* TTL ke RS-232 dan kebalikannya.

Komunikasi data menggunakan *port* serial pada komputer biasanya melalui konektor yang terdiri dari 9 pin atau dinamakan dengan konektor DB-9. Sinyal-sinyal protokol komunikasi serial pada komputer dihubungkan keluar melalui konektor tersebut. Masing-masing pin dari konektor DB-9 mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Tabel 1 menunjukkan konfigurasi pin dan nama sinyal pada setiap pin dari konektor.

Komunikasi asinkron sederhana yang berupa koneksi *null modem* dapat dilakukan dengan menghubungkan pin-pin dengan nama sinyal DTR, DSR dan DCD sebagai satu kesatuan serta pin RTS dengan CTS. Sinyal data *input* melalui RD dan transmisi *output* melalui sinyal TD.

Motor Stepper

Motor *stepper* merupakan perangkat elektromekanis yang mengubah pulsa-pulsa digital menjadi gerakan mekanik. Perputaran motor ini bersifat langkah per langkah atau *step-by-step* tidak seperti motor DC konvensional yang bersifat kontiniu. Motor bergerak sesuai dengan urutan pulsa yang diberikan. Oleh karena itu, diperlukan suatu pengendali pergerakan motor agar dapat dikontrol, dapat berhenti pada posisi yang diinginkan

atau bahkan berputar ke arah yang berlawanan. Seperti halnya motor DC, motor *stepper* juga dapat berputar searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam. Kecepatan putaran motor ditentukan oleh kecepatan pemberian data. Semakin cepat data diberikan, maka putaran motor semakin cepat.

Tabel 1. Konfigurasi Pin dan Nama Sinyal Konektor DB-9

Nomor Pin	Nama Sinyal	Keterangan
1	DCD	<i>Data Carrier Detect</i>
2	RxD	<i>Receive Data</i>
3	TxD	<i>Transmit Data</i>
4	DTR	<i>Data Terminal Ready</i>
5	GND	<i>Ground</i>
6	DSR	<i>Data Set Ready</i>
7	RTS	<i>Request to Send</i>
8	CTS	<i>Clear to Send</i>
9	RI	<i>Ring Indicator</i>

Perancangan tugas akhir ini menggunakan motor *stepper* untuk mengubah posisi horizontal dari kamera. Hal ini dikarenakan motor *stepper* memiliki keunggulan dalam posisi pergerakannya yang dapat diatur secara presisi, respon terhadap mulai dan berhentinya pergerakan yang sangat baik, dan sudut putaran motor yang proporsional dengan pulsa-pulsa masukan sehingga mudah diatur.

Motor *stepper* merupakan motor listrik yang tidak mempunyai komutator sehingga semua lilitannya merupakan bagian dari stator dalam membentuk magnet listrik. Rotornya hanya merupakan magnet permanen. Prinsip dasar dari motor tersebut adalah prinsip dasar magnet, yaitu kutub senama saling tolak menolak dan kutub berbeda nama saling tarik menarik.

Bentuk dasar motor *stepper* yang paling sederhana terdiri atas sebuah rotor dan dua buah stator. Motor dengan dua stator tersebut menggunakan dua bit untuk mengendalikan pergerakan rotor. Jika stator diberi arus listrik maka kedua stator membentuk kutub magnet. Apabila kutub magnet stator dan rotor adalah sama, maka keduanya saling tolak menolak yang mengakibatkan rotor berputar.

Motor dengan perputaran *full step* yang terdiri dari sebuah rotor dan empat buah stator. Motor jenis ini menggunakan empat bit untuk mengendalikan pergerakan rotor. Prinsip kerjanya mirip dengan jenis sebelumnya. Rotor dapat berputar kontiniu searah maupun berlawanan jarum jam dengan memberikan pulsa-pulsa tertentu. Berdasarkan konfigurasi lilitannya, motor *stepper* terdiri dari motor *stepper* unipolar dan motor *stepper* bipolar. Jenis unipolar dapat difungsikan untuk perputaran *half step* dan *full step*, sedangkan pada jenis bipolar hanya dapat digunakan untuk perputaran *full step* saja. Arus yang mengalir melalui koil pada jenis unipolar hanya dalam satu arah saja, hal ini berbeda dengan jenis bipolar yang mengalir dalam dua arah.

Pengendalian arus motor *stepper* dilakukan oleh rangkaian mekanisme atau pengendali motor, dan mikrokontroler untuk menentukan urutan fasa yang berupa pulsa kepada masing-masing lilitan motor. Pengendalian tersebut bergantung pada jenis dan karakteristik motor, serta tegangan dan arus maksimal dari catu daya yang digunakan. Pengendalian arus meliputi besar arus yang diberikan kepada lilitan motor dan urutan polaritas yang arus diberikan kepada masing-masing lilitan motor *stepper*. Urutan data yang diberikan pada lilitan mempengaruhi putaran rotor sehingga menjadi langkah-langkah dalam satuan derajat putaran rotor. Banyak cara yang dapat digunakan untuk mengendalikan putaran motor *stepper*, seperti menggunakan rangkaian terintegrasi dan menggunakan transistor.

Pengendalian tersebut biasanya menggunakan prinsip transistor yang berfungsi sebagai saklar. Konfigurasi transistor disesuaikan dengan kebutuhan arus. Apabila diperlukan penguatan arus yang besar maka dapat digunakan hubungan *Darlington* seperti terlihat pada Gambar 6. Hubungan *Darlington* merupakan gabungan dari dua buah transistor yang berfungsi seperti satu kesatuan transistor dengan penguatan arus yang merupakan hasil perkalian penguatan arus dari masing-masing transistor [2]. Apabila hubungan tersebut tersusun dari dua buah transistor yang berbeda dengan penguatan arus masing-masing adalah β_a dan β_b , maka penguatan arus yang dihasilkan menjadi:

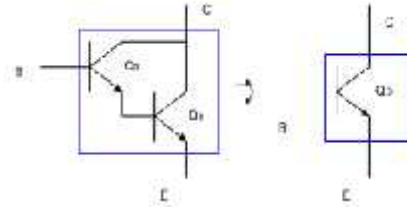
$$\beta_D = \beta_a \cdot \beta_b \dots\dots\dots(1)$$

Sedangkan apabila hubungan keduanya melibatkan dua buah transistor yang saling *match* dengan penguatan β_o , maka penguatan arus yang dihasilkan menjadi:

$$\beta_D = \beta_o^2 \dots\dots\dots(2)$$

Pemanfaatan transistor yang berfungsi sebagai saklar yang paling sederhana adalah menggunakan konfigurasi *Common-Emitter* (CE). Pada fungsi ini, transistor hanya dioperasikan pada salah satu dari dua

kondisi yaitu kondisi saturasi dan kondisi *cut-off*.



Gambar 6. Konfigurasi Hubungan *Darlington*

Transistor beroperasi pada daerah aktif apabila hubungan antara *collector* dengan *base* bersifat *reversed-biased*, sedangkan hubungan antara *base* dengan *emitter* bersifat *forward-biased*. Keadaan *cut-off* yang dialami oleh transistor menyebabkan transistor berfungsi sebagai sebuah saklar terbuka. Secara ideal, pada kondisi *cut-off* tidak ada arus yang mengalir pada bagian kolektor atau dirumuskan $I_c = 0$, dan tegangan pada bagian kolektor-*emitter* sama dengan tegangan pada bagian input, yaitu $V_{CE} = V_{CC}$. Sehingga tegangan pada bagian beban yang terhubung seri dengan bagian kolektor adalah nol. Pada keadaan saturasi, transistor dapat dianggap sebagai sebuah saklar yang tertutup dari bagian kolektor ke *emitter*. Arus pada bagian kolektor dapat mencapai nilai maksimum atau dirumuskan $I_c = I_{c_{sat}}$. Tegangan pada bagian kolektor-*emitter* adalah nol atau $V_{CE} \approx 0$. Hal ini menyebabkan beban yang terhubung seri dengan bagian kolektor memperoleh tegangan input.

Penjumlahan tegangan pada bagian *output* sesuai dengan hukum *Kirchoff* akan menghasilkan persamaan:

$$V_{CC} - V_{CE} - I_c R_c = 0 \quad \text{.....(3)}$$

$$I_c = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_c} \quad \text{.....(4)}$$

Pada kondisi saturasi tegangan kolektor-*emitter* adalah nol sehingga arus bagian kolektor merupakan arus saturasi dengan persamaan:

$$I_{c_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_c} \quad \text{.....(5)}$$

Kondisi saturasi ini akan tercapai dengan perubahan arus yang melalui bagian basis pada transistor yang harus lebih besar daripada arus basis maksimum.

$$I_{B_{maks}} > \frac{I_{c_{sat}}}{\beta_{dc}} \quad \text{.....(6)}$$

Persamaan penjumlahan tegangan pada bagian input rangkaian adalah

$$V_{CC} - V_{BE} - I_B R_B = 0 \quad \text{.....(7)}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad \text{.....(8)}$$

Syarat agar suatu transistor benar-benar bekerja dalam keadaan saturasi dan *cut-off* adalah

$$V_{cc} > V_{BE} + I_B \cdot R_B \quad \text{.....(9)}$$

Motor *stepper* yang dipilih merupakan jenis motor *stepper* 4 fasa keluaran TEC. Motor ini mempunyai resistansi koil sebesar 5 ohm dan membutuhkan tegangan catu sebesar 6 volt, serta mempunyai derajat putaran sebesar 1.8° per *step* putaran. Motor *stepper* dipilih untuk mengubah posisi horizontal kamera karena memiliki kelebihan dalam pengaturan posisi pergerakan rotor sehingga dapat diatur secara lebih presisi.

Motor *stepper* ini menggunakan transistor D313 yang berfungsi sebagai saklar dalam men-*supply* beban dengan arus besar. Motor *stepper* yang digunakan memiliki resistansi koil sebesar 5 dengan kebutuhan tegangan sebesar 6 volt. Hal ini menyebabkan motor membutuhkan arus pada kisaran 1 A sampai 2 A. Berdasarkan *datasheet* transistor D313, dapat diperoleh informasi bahwa transistor tersebut dapat mengalirkan arus maksimum pada bagian kolektor sebesar 3 A.

Motor Direct Current

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Mekanisme kerja dari motor listrik secara umum adalah arus listrik dalam medan magnet menghasilkan gaya. Apabila kawat yang membawa arus tersebut membentuk sebuah *loop*, maka pada kedua sisi *loop* mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Pasangan gaya tersebut menghasilkan tenaga putar untuk memutar kumparan. Motor listrik umumnya memiliki beberapa *loop* pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam.

Motor listrik terdiri dari dua jenis utama, yaitu motor *Direct Current* (DC) dan motor *Alternating Current* (AC). Perancangan sistem keamanan tersebut menggunakan motor dengan jenis DC untuk menggerakkan landasan etalase. Motor ini memiliki tiga komponen utama yaitu kutub medan, dinamo, dan komutator. Secara sederhana dapat diilustrasikan bahwa interaksi dua kutub magnet menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor ini memiliki kutub medan yang stasioner dan pada jenis yang sederhana hanya mempunyai dua kutub medan, yaitu kutub utara dan kutub selatan. Dinamo berbentuk silinder dan berhubungan dengan batang penggerak untuk menggerakkan beban. Komutator berfungsi dalam membalikkan arah arus listrik dalam dinamo.

Motor DC umumnya tersedia dalam berbagai ukuran, namun pada penggunaan biasanya dibatasi untuk penggunaan dengan kecepatan rendah dan daya yang rendah. Pada aplikasinya seringkali sebuah motor digunakan untuk perputaran dengan arah yang searah jarum jam maupun sebaliknya. Untuk mengubah putaran dari sebuah motor dapat dilakukan dengan mengubah arah arus yang mengalir melalui motor tersebut. Secara sederhana, hal ini dapat dilakukan hanya dengan mengubah polaritas tegangan *input* dari motor.

Pengubahan polaritas tegangan dapat dilakukan dengan mudah melalui penggunaan dua buah saklar yang berada pada posisi saling berlawanan. Pada aplikasi pengaturan arah putar menggunakan mikrokontroler, penggunaan saklar dapat digantikan dengan transistor yang berfungsi sebagai saklar otomatis.

Aplikasi pengendali putaran motor DC seringkali juga membutuhkan piranti *relay* elektromekanis. *Relay* merupakan perpaduan antara lempengan besi sebagai saklar dan lilitan kawat sebagai elektromagnet. *Relay* terdiri dari sebuah kumparan atau solenoida, sebuah inti feromagnetik, dan sebuah armatur sebagai penyambung dan pemutus arus. *Relay* berfungsi untuk membuka dan menutup rangkaian dengan tegangan dan arus tinggi menggunakan sedikit tegangan atau arus yang mengalir pada solenoida.

Pada *relay* terdapat dua bagian utama, yaitu koil dan kontak. Susunan kontak *relay* dibedakan menjadi normal terbuka atau *Normally Open* (NO) dan normal tertutup atau *Normally Close* (NC). Susunan kontak normal terbuka dapat menjadi kontak tertutup apabila *relay* diberikan energi oleh arus, begitu juga sebaliknya. Sedangkan koil terdiri dari tiga bagian utama, yaitu:

1. Kumparan

Kumparan merupakan lilitan kawat tembaga yang harus dialiri arus listrik sehingga dapat menghasilkan medan magnetik pada inti besi.

2. Inti besi

Inti besi dililit oleh kumparan untuk menghasilkan medan magnetik.

3. Jangkar

Jangkar terbuat dari inti besi lunak yang berfungsi untuk mengaktifkan kontak setelah tertarik oleh inti besi.

Relay menggunakan keluaran *Huigang* dengan tipe HRS2H-S-DC5V. *Datasheet relay* tersebut dapat dibaca pada bagian Lampiran 3. *Relay* digunakan untuk mengisolasi tegangan kerja beban yang lebih tinggi agar tidak mengganggu tegangan kerja dari sistem kontrol yang lebih rendah. Melalui penggunaan relay, beban dengan arus dan tegangan yang besar dapat dikontrol hanya dengan arus dan tegangan yang kecil saja. Selain itu, relay jenis ini sangat mudah ditemukan di pasaran dengan harga yang relatif terjangkau.

Motor DC pada alat ini digunakan untuk menggerakkan landasan etalase. Jenis motor DC yang digunakan adalah motor DC yang terintegrasi dengan *gearbox*. *Gearbox* dibutuhkan untuk mendapatkan torsi yang besar dan kecepatan yang merata. Rancangan tersebut menggunakan motor DC *gearbox* dengan daya maksimum 12 volt.

Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan pengembangan dari mikroprosesor yang dikombinasikan dengan unit *Input* atau *Output* (I/O) dan memori. Pengembangan tersebut juga dilakukan dalam tingkatan *chip* yang biasa disebut dengan *Single Chip Microcomputer* (SCM). SCM inilah yang selanjutnya disebut dengan mikrokontroler. Pada mikrokontroler telah terdapat komponen-komponen mikroprosesor dengan bus-bus internal yang saling berhubungan. Keunggulan lain dari mikrokontroler adalah terdapat sistem interupsi yang sangat diperlukan pada aplikasi sistem kontrol.

Mikrokontroler yang tersedia di pasaran merupakan mikrokontroler keluaran *Motorola*, *Intel*, AVR ciptaan *Atmel*, dan sebagainya. MCS-51 merupakan keluarga mikrokontroler yang diproduksi oleh *Intel Corporation*. Beberapa perusahaan kemudian mengembangkan varian dari MCS-51 atas lisensi *Intel*, seperti *Atmel*, *Philips*, dan *Siemens*. Hal ini membuktikan bahwa mikrokontroler ini sangat populer dan banyak orang menggunakannya.

Mikrokontroler menggunakan *Eraseable and Programmable Read Only Memory* (EPROM) sebagai tempat menyimpan program yang dibuat. Keluarga MCS-51 memiliki bermacam-macam tipe berdasarkan kapasitas memori penyimpanan program, seperti mikrokontroler yang memiliki 4 *kbyte Flash EPROM*, 8 *kbyte*

Flash EPROM dan sebagainya. Selain perbedaan berdasarkan kapasitas memori, mikrokontroler juga dibedakan berdasarkan jumlah pin dan kemasan *chip*.

Pada umumnya semua varian mikrokontroler terdiri dari beberapa bagian, yaitu *Central Processing Unit* (CPU), *Random Access Memory* (RAM), *Read Only Memory* (ROM), *timer* atau *counter*, unit keluaran, dan unit masukan. Keseluruhan operasi pada mikrokontroler dikendalikan oleh CPU. CPU memiliki dua bagian utama, yaitu *Control Unit* (CU) dan *Arithmetic Logic Unit* (ALU). CU berfungsi untuk mengambil instruksi dari memori kemudian menterjemahkan susunan instruksi tersebut menjadi suatu kumpulan proses kerja sederhana lalu melaksanakan urutan instruksi sesuai dengan langkah-langkah yang telah ditentukan program. Sedangkan ALU berhubungan dengan operasi aritmetika serta manipulasi data secara logika. Selain itu, pada CPU terdapat register tempat penyimpanan data sementara, *Instruction Register* (IR) untuk menyimpan kode biner dari setiap instruksi yang dieksekusi, dan *Program Counter* untuk menyimpan alamat memori dari instruksi yang dieksekusi berikutnya.

Semua mikrokontroler memiliki ruang alamat memori data dan program yang terpisah. Pemisahan memori data dan program tersebut membolehkan data diakses dengan alamat 8 bit, sehingga dapat dengan cepat dan dimanipulasi oleh CPU. Namun alamat memori data 16 bit juga bisa dihasilkan melalui *Data Pointer Register* (DPTR). Memori program pada mikrokontroler hanya dapat dibaca. Memori pada mikrokontroler terdiri dari RAM dan ROM. RAM bersifat *volatile* yang berarti memorinya hilang apabila sumber diputus, sehingga biasanya digunakan untuk menyimpan variabel atau data yang bersifat sementara. Sedangkan ROM bersifat *non-volatile* yang berarti memorinya tidak hilang walaupun sumber tegangan diputus, sehingga dapat digunakan untuk menyimpan memori program.

Modul mikrokontroler pada rancangan alat ini menggunakan mikrokontroler delapan bit buatan *Atmel*, yaitu AT89S51. Pemilihan jenis AT89S51 dikarenakan mikrokontroler tersebut mudah ditemukan di berbagai tempat penjualan komponen elektronika. Di samping itu, IC ini memiliki kemudahan dan kemampuan dalam menulis dan menghapus serta mengisi program yang digunakan melalui *In-System Programming* (ISP). Mikrokontroler tersebut dapat diprogram secara langsung tanpa memindahkan *chip* ke suatu modul *downloader*. Jumlah jalur *input* dan *output* yang disediakan juga mencukupi kebutuhan rancangan yaitu sebanyak 23 buah. Mikrokontroler tersebut memiliki kapasitas memori yang cukup besar yaitu 4 kbyte untuk menyimpan program, dan RAM sebesar 128 byte untuk menyimpan data dan variabel sementara. Gambar 3.9 merupakan gambar konfigurasi pin dari mikrokontroler AT89S51 yang digunakan.

Alat ini menggunakan chip ULN 2803AG. Chip tersebut digunakan sebagai *driver* untuk menjembatani arus dan tegangan keluaran dari mikrokontroler dalam mengendalikan motor DC dan pemancar dari modul sensor. *Datasheet* IC tersebut dapat dibaca pada bagian Lampiran 3. ULN2803 dipilih karena alasan kesederhanaan rangkaian. Melalui penggunaan *chip* tersebut, tidak lagi dibutuhkan komponen eksternal seperti resistor, dioda, dan transistor. Komponen-komponen tersebut sudah dirangkai menjadi satu kesatuan *chip*. Selain itu, *chip* tersebut dapat men-*supply* arus beban yang relatif besar melalui susunan *Darlington* dengan konfigurasi khusus. Berdasarkan *datasheet* ULN 2803AG, dapat diperoleh informasi bahwa keluaran chip tersebut dapat men-*supply* arus maksimum sebesar 500 mA untuk penggunaan *output* tunggal. IC tersebut mempunyai 18 buah pin dengan delapan pin untuk *input*, delapan pin untuk *output*, pin *ground*, dan pin *common*.

Catu Daya

Catu daya atau lebih sering disebut dengan *power supply* adalah suatu rangkaian yang berfungsi mengubah daya masukan dari sumber listrik arus bolak-balik menjadi daya keluaran yang bersifat DC [4]. Catu daya dapat dirancang untuk menghasilkan nilai keluaran sesuai dengan kebutuhan beban. Tegangan keluaran yang dihasilkan dapat mengalami perubahan yang disebabkan oleh beberapa faktor, seperti perubahan tegangan pada bagian *input* dan arus beban yang dicatu. Parameter yang menentukan *performance* suatu catu daya adalah sebagai berikut [4]:

1. *Ripple*
Komponen AC yang masih terdapat pada tegangan keluaran.
2. Regulasi beban
Perubahan nilai pada tegangan keluaran yang menyertai perubahan arus yang di-*supply* ke beban dengan kondisi lain adalah konstan.
3. Regulasi saluran *input*
Perubahan nilai pada tegangan keluaran yang menyertai perubahan tegangan dari saluran *input* dengan kondisi lain adalah konstan.

Hasil keluaran catu daya tersebut bersifat tidak teregulasi atau tidak distabilkan. Nilai dari tegangan keluaran mengalami perubahan sesuai dengan perubahan arus yang di-*supply* ke beban. Nilai tersebut semakin menurun dengan meningkatnya kebutuhan arus dari beban, dan juga sebaliknya. Catu daya jenis ini umumnya

digunakan untuk aplikasi yang tidak terlalu kritis terhadap variasi tegangan keluaran [4]. Tegangan keluaran yang teregulasi terhadap beban dapat dihasilkan oleh catu daya melalui penggunaan *regulator* tegangan. Masing-masing bagian dari diagram blok catu daya dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

Transformator

Transformator atau trafo merupakan perangkat elektronika yang dapat digunakan untuk mengubah suatu nilai tegangan pada bagian *input* menjadi suatu nilai tertentu yang dikehendaki. Pengubahan dapat bersifat menaikkan suatu *level* tegangan melalui trafo *step-up* atau menurunkan *level* tegangan dengan trafo *step-down*.

Trafo terdiri atas dua kumparan kawat terisolasi yang berupa kumparan primer dan kumparan sekunder. Isolasi harus mampu bertahan terhadap berbagai *level* tegangan kerja. Kumparan dililitkan pada sebuah inti besi lunak. Perbandingan tegangan pada sisi sekunder terhadap tegangan pada sisi primer ditentukan oleh jumlah lilitan pada kedua sisi kumparan.

Trafo yang digunakan tanpa beban pada sisi sekundernya masih menghasilkan arus kecil pada sisi primer yang disebut dengan arus tanpa beban. Arus tanpa beban disebabkan oleh adanya kerugian-kerugian dalam inti transformator [4]. Beban sebesar R_{beban} yang terhubung dengan sisi sekunder menyebabkan arus mengalir sebesar

$$I = \frac{V_s}{R_{beban}} \dots\dots\dots(10)$$

Biasanya trafo didesain atau dirancang dengan mencantumkan nilai arus maksimum yang dapat disalurkan.

Keluaran *transformator* dapat saling diparalelkan untuk memperoleh arus maksimum yang lebih besar tetapi dengan nilai tegangan yang tidak mengalami kenaikan [4]. Hal yang perlu diperhatikan adalah antar lilitan sekunder yang digunakan harus mengeluarkan tegangan yang tepat sama, sehingga arus internal tidak terjadi.

Penyearah

Rangkaian penyearah atau sering disebut juga dengan *rectifier* digunakan untuk mengubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah. Rangkaian tersebut biasanya menggunakan dioda yang disusun dengan konfigurasi tertentu. Rangkaian penyearah terdiri dari dua jenis, yaitu rangkaian penyearah setengah gelombang dan rangkaian penyearah gelombang penuh.

Rangkaian penyearah setengah gelombang hanya menggunakan sebuah dioda. Dioda dalam keadaan bias maju hanya apabila tegangan keluaran trafo sedang berada pada fasa positif. Arus listrik hanya dilewatkan pada salah satu fasa tegangan saja. Tegangan keluaran rangkaian penyearah tersebut dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut [4]:

$$V_R = \frac{V_p}{\pi} = 0,32V_p \dots\dots\dots(11)$$

dengan V_R = tegangan keluaran penyearah (volt)

V_p = tegangan puncak *input* (volt)

Rangkaian penyearah gelombang penuh dapat dibuat menggunakan empat buah dioda yang dikenal sebagai jembatan dioda. Jembatan dioda dapat ditemukan di pasaran dalam berbagai bentuk kemasan. Tegangan keluaran rangkaian penyearah gelombang penuh dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut [4]:

$$V_R = 1,41 \frac{2.V_{s_{max}}}{\pi} \dots\dots\dots(12)$$

$$V_R \approx 1,3.V_s \dots\dots\dots(13)$$

dengan V_R = tegangan keluaran penyearah (volt)

V_s = tegangan efektif *input* (volt)

$V_{s_{max}}$ = tegangan maksimum *input* (volt)

Filter

Hasil keluaran *rectifier* merupakan gelombang searah yang masih mengandung *ripple* atau denyut. Oleh karena itu, mutlak diperlukan suatu komponen filter yang berupa rangkaian kapasitor perata. Agar tingkat tegangan *ripple* yang tidak diinginkan tersebut menjadi kecil, maka diperlukan kapasitor dengan kapasitansi yang besar sampai ribuan *mikrofarad*. Semakin besar nilai beban yang di-*supply* oleh catu daya mengakibatkan tegangan keluaran semakin konstan dan tingkat *ripple* yang diperoleh pun semakin mengecil [4].

Limit Switch

Alat ini hanya menggunakan *limit switch* dengan 3 pin, walaupun sebenarnya masih banyak jenis saklar lain yang tersedia dalam dunia elektronika. Ketiga pin tersebut biasanya merupakan pin *Normally Open* (NO),

pin *Normally Close* (NC), dan pin untuk *ground*. Pin NO merupakan pin yang pada keadaan normal bersifat terbuka, sehingga apabila saklar ditekan maka hubungan rangkaian menjadi tertutup. Sedangkan pin NC merupakan pin yang pada keadaan normal bersifat tertutup. Apabila saklar ditekan, maka hubungan rangkaian menjadi terbuka. Keadaan normal mengindikasikan bahwa saklar dalam keadaan tidak ditekan.

Limit switch yang dipilih terdiri dari tiga pin. Ketiga pin tersebut merupakan pin *Common*, pin *Normally Open* (NO), dan pin *Normally Close* (NC). Hal ini dikarenakan hubungan yang diperlukan pada realisasi hanya menggunakan dua pin saja. Selain itu, *limit switch* jenis ini banyak mudah ditemukan di berbagai tempat penjualan komponen elektronika

Handphone Siemens S35

Sistem keamanan ini menggunakan *handphone* keluaran *Siemens* dengan tipe S35. Hal ini dikarenakan *handphone* tersebut mempunyai kabel data yang dapat berkomunikasi secara serial dengan komputer. *Handphone* dapat berkomunikasi secara serial dengan komputer melalui jalur kabel data serial. Alasan lain pemilihan *handphone Siemens* jenis ini adalah kemudahan dalam mendapatkan referensi mengenai AT-command yang dapat digunakan.

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian modul komunikasi GSM berfungsi untuk mengetahui apakah *handphone* dapat mengirimkan pesan singkat setelah menerima AT-command yang dikirimkan oleh komputer melalui jalur kabel data serial. Pengujian tersebut dilakukan melalui fasilitas *Hyper-Terminal* pada komputer untuk berkomunikasi secara serial dengan *handphone Siemens S35* menggunakan *baudrate* sebesar 19200 bps.

Pengujian dimulai dengan membuat pesan pada memori SMS. Pesan berupa “Alarm” disimpan pada memori SMS dengan indeks pertama untuk nomor tujuan 628568855660 dari operator *Indosat*, dan pada memori dengan indeks kedua untuk nomor tujuan 628176001030 dari operator *XL*. Pesan ini dikirim menggunakan nomor 6281384935485 dari operator *Telkomsel*.

Perintah AT+CMSS=1 digunakan untuk mengirimkan pesan pada memori dengan indeks pertama, sedangkan AT+CMSS=2 untuk mengirimkan pesan pada indeks memori kedua. Apabila pesan telah berhasil dikirim, maka respon “ok” diterima oleh komputer. Tabel 2 menyajikan data hasil pengujian modul komunikasi GSM yang dilakukan. Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diperoleh informasi bahwa *handphone* yang digunakan telah dapat mengirimkan pesan singkat setelah menerima AT-command dari komputer. Hal ini dapat dilihat melalui respon “ok” yang diterima pada setiap pengiriman pesan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Modul Komunikasi GSM

AT-command	Respon	Pesan	Nomor yang Menerima Pesan	Waktu Pengiriman Pesan
AT+CMSS=1	Ok	Alarm	628568855660	3 detik
AT+CMSS=2	Ok	Alarm	628176001030	3 detik

Pengujian *web camera* ini berfungsi untuk mengetahui apakah *webcam* yang digunakan dapat meng-capture suatu *image* dan merekam gambar bergerak. Pengujian dilakukan menggunakan komputer melalui *software* aplikasi bawaan dari *webcam* tersebut.

Pengujian pertama dilakukan dengan meng-capture suatu *image*. Pengujian kedua dilakukan untuk merekam gambar bergerak dengan hasil rekaman diperoleh dalam format *.avi* setelah proses merekam selesai. Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diperoleh informasi bahwa *webcam* yang digunakan telah berfungsi dengan baik dalam meng-capture *image* maupun merekam gambar bergerak.

Pengujian modul komunikasi serial bertujuan untuk mengetahui apakah modul ini dapat mengubah tegangan dari format RS-232 ke format TTL dan sebaliknya. Pengujian dilakukan dengan mengukur *level* tegangan pada masing-masing pin untuk *transmit* dan *receive* dari IC MAX232.. Untuk *input* tegangan format TTL digunakan *level* tegangan 0 volt dan 5 volt, sedangkan *input* tegangan format RS-232 digunakan *level* tegangan +9 volt dan -9 volt.

Hasil pengujian untuk *level* tegangan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3. Dari data hasil pengujian tersebut, dapat diperoleh informasi bahwa modul ini telah dapat mengubah tegangan dari format TTL ke RS-232 dan sebaliknya. Pada saat diberi input tegangan TTL, *output*-nya adalah *level* tegangan sebesar +9,6 volt dan -9,5 volt yang merupakan *level* tegangan untuk standar RS-232. Apabila diberi input tegangan RS-232, maka *output*-nya adalah *level* tegangan sebesar 0,4 volt dan +4,7 volt yang merupakan *level* tegangan untuk standar TTL. Hal tersebut mengindikasikan bahwa modul tersebut telah bekerja dengan baik dalam mengkonversi tegangan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Tegangan Modul Komunikasi Serial

Input		Output	
Pin	V_{input} (volt)	Pin	V_{output} (volt)
11	0	14	+9,6
11	+5	14	-9,5
13	-9	12	+4,7
13	+9	12	0,4

Pengujian berikutnya bertujuan untuk mengetahui apakah data dari mikrokontroler dapat diterima dengan benar oleh komputer ataupun sebaliknya. Pengujian tersebut dilakukan menggunakan mikrokontroler dan komputer, yaitu dengan melakukan komunikasi antara *port* serial pada komputer dengan mikrokontroler. Fasilitas *Hyper-Terminal* berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui *port* serial COM 1 dengan *baudrate* sebesar 4800 bps. Pada mikrokontroler digunakan program untuk menunggu karakter huruf kecil dari *serial port* komputer, dan kemudian karakter tersebut di-*echokan* kembali. Karakter yang telah diterima oleh mikrokontroler dikirim kepada *port* 0 untuk ditampilkan melalui delapan buah LED.

Pengujian dimulai dengan mengirimkan karakter huruf “a” dan kemudian huruf “s” melalui *Hyper-Terminal*. Karakter “a” mempunyai nilai ASCII 61H yang sesuai dengan data biner 01100001b dan karakter “s” mempunyai nilai ASCII 73H yang sesuai dengan data biner 01110011b. Bit 0 mengindikasikan bahwa LED menyala, sedangkan bit 1 mengindikasikan bahwa LED tidak menyala. Status LED pada *port* 0 dapat dilihat pada Tabel 4. Kedua karakter yang di-*echokan* kembali adalah karakter “a” dan “s”.

Tabel 4. Hasil Pengujian Modul Komunikasi Serial

Port Mikrokontroler	Status LED Karakter “a”	Status LED Karakter “s”
0.0	Tidak menyala	Tidak menyala
0.1	Menyala	Tidak menyala
0.2	Menyala	Menyala
0.3	Menyala	Menyala
0.4	Menyala	Tidak menyala
0.5	Tidak menyala	Tidak menyala
0.6	Tidak menyala	Tidak menyala
0.7	Menyala	Menyala

Data hasil pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa karakter yang dikirimkan oleh komputer telah dapat diterima dan ditampilkan dengan benar oleh mikrokontroler begitu juga dengan hasil *echo* karakter, sehingga dapat dikatakan bahwa modul tersebut telah berfungsi dengan baik.

Pengujian modul *alarm* bertujuan untuk mengetahui apakah *buzzer* dapat berbunyi atau tidak sesuai dengan *input* logika yang diberikan oleh mikrokontroler. Pengujian dilakukan dengan memberikan *input* logika *low* atau *high* pada pin basis dari transistor. *Input* logika *high* merupakan *level* tegangan 5 volt, sedangkan *input* logika *low* merupakan *level* tegangan 0 volt atau *ground*. Gambar 4.5 merupakan konfigurasi pengujian dari modul *alarm*.

Transistor BC108 menerima tegangan *input* atau V_{input} pada bagian basis, sedangkan tegangan pada bagian kolektor-*emitter* adalah V_{CE} . Hasil pengujian modul tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Modul Alarm

V_{input} (volt)	V_{CE} (volt)	Status Buzzer
0	4.98	Tidak berbunyi
5	0.65	Berbunyi

Input logika *high* yang diterima basis menyebabkan transistor berfungsi seperti saklar tertutup yang dapat mengalirkan arus dari sumber *input* ke beban. Nilai V_{CE} menjadi minimal yaitu 0,65 volt dan nilai arus mengalami kenaikan menjadi 5,5 mA. Hal tersebut menyebabkan *buzzer* menjadi berbunyi. Pada saat *input* yang diterima berlogika *low*, transistor berfungsi seperti saklar terbuka sehingga *buzzer* tidak berbunyi. Hal ini dapat diindikasikan dari nilai V_{CE} sebesar 4,98 volt. Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diperoleh informasi bahwa modul tersebut telah berfungsi dengan baik.

Pengujian modul motor DC bertujuan untuk mengetahui apakah motor dapat berputar searah jarum jam dalam menggerakkan landasan etalase ke atas pada saat *port* 3.6 memberikan *input* logika *high*. Begitu juga sebaliknya, motor berputar dalam arah yang berlawanan pada saat *port* 3.7 memberikan *input* logika *high*.

Pengujian modul ini dimulai terlebih dahulu dengan menguji masing-masing pin pada *chip* ULN yang digunakan untuk dilihat keluarannya. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan 5 volt pada pin *input*.

Chip bekerja dengan baik apabila setiap pin *output* mampu menghasilkan *level* tegangan yang mendekati tegangan *input* pada pin *common*. Hasil pengujian *chip* ULN tersebut dapat dilihat pada Tabel 6. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan *output* yang diperoleh adalah hampir mendekati tegangan *input*, yaitu sebesar 4.56 volt. Hal ini berarti bahwa kedua pin yang digunakan pada *chip* ULN telah bekerja dengan baik.

Tabel 6. Hasil Pengujian *Chip* ULN

Pin <i>Input</i>	Tegangan <i>Output</i> (volt)
1	4,56
2	4,56

Pengujian dilanjutkan dengan menguji keseluruhan modul tersebut, yaitu dengan memberikan tegangan *input* berlogika *high* atau *low* pada masing-masing pin *input* *chip* ULN. *Input* logika *low* berupa *level* tegangan 0 volt, dan *input* logika *high* berupa *level* tegangan 5 volt.

Hasil pengujian modul tersebut dapat dilihat pada Tabel 7. Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diperoleh informasi bahwa motor berputar searah jarum jam pada saat *input* pertama ULN adalah *high*. Hal tersebut dapat juga diindikasikan dari tegangan *output* sebesar +11,93 volt. Transistor *chip* ULN berfungsi seperti saklar tertutup untuk mengalirkan arus ke beban, dan terukur sebesar 33,6 mA. Arus inilah yang menyebabkan *relay* menjadi aktif. Pada saat *input* kedua adalah *high*, motor berputar berlawanan arah jarum jam. Hal tersebut dapat juga diindikasikan dari tegangan *output* yang terukur sebesar -11,93 volt. Apabila diberi *input* logika *low*, maka transistor *chip* ULN menjadi tidak aktif sehingga tidak ada arus yang mengalir ke beban. Data hasil pengujian yang telah diperoleh menunjukkan bahwa modul tersebut telah berfungsi dengan baik.

Tabel 7. Hasil Pengujian Modul Mekanisme Motor DC

Pin ULN	<i>Input</i> ULN	Status <i>Relay</i>	Tegangan <i>Output</i> (volt)	Arah Putaran
1	<i>High</i>	Aktif	11.93	Searah jarum jam
2	<i>High</i>	Aktif	-11.93	Berlawanan arah jarum jam
1	<i>Low</i>	Tidak Aktif	0	-
2	<i>Low</i>	Tidak Aktif	0	-

Pengujian modul *motor stepper* bertujuan untuk mengetahui apakah motor *stepper* dapat berputar searah dan berlawanan jarum jam sesuai dengan urutan data yang diberikan oleh mikrokontroler. Pengujian diawali dengan memberikan tegangan *input* berlogika *low* atau *high* pada masing-masing pin basis dari transistor BC108. *Input* logika *low* berupa *level* tegangan 0 volt, dan *input* logika *high* berupa *level* tegangan 5 volt. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan pada sisi kolektor-emitter atau V_{CE} pada bagian *output*. Tegangan *input* yang diterima basis transistor BC108 merupakan V_{input} . Hasil pengujian modul tersebut dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Modul Mekanisme Motor *Stepper*

V_{input} (volt)	V_{CE} (volt)	Status Koil Motor
0	6,02	Tidak aktif
5	0,02	Aktif

Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diperoleh informasi bahwa pada saat terdapat tegangan *input* pada basis dari transistor BC108 menyebabkan kedua transistor berfungsi seperti saklar tertutup sehingga tegangan V_{CE} jatuh pada nilai minimal yaitu sebesar 0,02 volt. Hal inilah yang menyebabkan koil motor menjadi aktif.

Pengujian berikutnya dilakukan menggunakan mikrokontroler. Pada mikrokontroler digunakan program untuk memutar motor *stepper* melalui *port* 1.0 sampai 1.3 sebanyak 50 *step* searah jarum jam dan 50 *step* berlawanan arah jarum jam, dengan selang waktu antar *step* sebesar 50 ms.

Motor *stepper* dapat berputar searah dan berlawanan arah jarum jam masing-masing sebanyak 50 *step*, sehingga dapat dikatakan bahwa modul tersebut telah berfungsi dengan baik. Urutan data yang digunakan untuk mengontrol putaran motor tersebut dapat dilihat pada Tabel 9. Data yang digunakan hanya berupa urutan data sebanyak 4 bit baik pada bagian *lower* maupun *upper*.

Modul sensor terdiri dari bagian pemancar dan bagian penerima. Oleh karena itu, pengujian harus dilakukan terhadap bagian pemancar dan bagian penerima dari modul tersebut. Pengujian dimulai terlebih dahulu dengan pengujian modul sensor bagian penerima.

Tabel 9. Urutan Data Motor *Stepper*

Data	Arah Putar	Data	Arah Putar
00010001	Searah jarum jam	00010001	Berlawanan arah jarum jam
10001000	Searah jarum jam	00100010	Berlawanan arah jarum jam
01000100	Searah jarum jam	01000100	Berlawanan arah jarum jam
00100010	Searah jarum jam	10001000	Berlawanan arah jarum jam

Pengujian bagian penerima dari modul sensor bertujuan untuk mengetahui apakah bagian tersebut dapat memberikan *input* logika *high* atau *low* pada mikrokontroler. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur tegangan keluaran dan arus yang mengalir pada bagian kolektor dari *phototransistor* pada saat disinari dan tidak disinari oleh *laser pointer*.

Pengujian tersebut dilakukan pada setiap *phototransistor* yang digunakan. Hasil pengujian yang didapat dari delapan transistor adalah sama dan dapat dilihat pada Tabel 10. Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diperoleh informasi bahwa modul tersebut telah berfungsi dengan baik. Pada saat *phototransistor* menerima cahaya dari *laser pointer*, tegangan *output* yang terukur adalah sebesar 0,19 volt yang sesuai dengan *output* berupa logika *low*. Sedangkan pada saat tidak menerima cahaya, tegangan *output* terukur adalah sebesar 4,99 volt yang berarti logika *high*. Semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima *phototransistor* maka arus yang mengalir pada bagian kolektor semakin membesar. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa arus kolektor pada saat disinari adalah 0,32 mA dan pada saat tidak disinari adalah sebesar 0,45 A.

Tabel 10. Hasil Pengujian Bagian Penerima dari Modul Sensor

Status <i>Phototransistor</i>	Tegangan <i>Output</i> (volt)	Arus Kolektor (mA)
menerima cahaya	0.19	0,32
tidak menerima cahaya	4.99	$0,45 \cdot 10^{-3}$

Tabel 11. Hasil Pengujian *Chip* ULN

Pin <i>Input</i>	Tegangan <i>Output</i> (volt)
3	4.56
4	4.56
5	4.56
6	4.56

Pengujian modul sensor bagian pemancar dilakukan untuk mengetahui apakah *laser pointer* dapat menyala pada saat modul menerima *input* logika *high*. Begitu juga sebaliknya, *laser pointer* diharapkan tidak menyala pada saat modul menerima *input* logika *low*. Pengujian bagian ini dimulai terlebih dahulu dengan menguji masing-masing pin pada *chip* ULN yang digunakan untuk dilihat keluarannya. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan 5 volt pada pin *input*. *Chip* bekerja dengan baik apabila setiap pin *output* mampu menghasilkan tegangan keluaran yang mendekati tegangan *input* pada pin *common*. Hasil pengujian chip ULN tersebut ditunjukkan pada Tabel 11. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan *output* yang diperoleh adalah hampir mendekati tegangan *input*, yaitu sebesar 4.56 volt. Hal ini berarti bahwa keempat pin yang digunakan pada *chip* ULN telah bekerja dengan baik.

Pengujian tersebut dilanjutkan dengan menguji keseluruhan modul sensor bagian pemancar. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan *input* berlogika *low* atau *high* pada masing-masing pin *input*. *Input* logika *low* berupa *level* tegangan 0 volt, dan *input* logika *high* berupa *level* tegangan 5 volt.

Tabel 12 menyajikan data hasil pengujian bagian pemancar. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa pada saat *input* ULN berlogika *high* maka *laser pointer* menyala. Hal ini menyebabkan transistor berfungsi seperti saklar tertutup untuk mengalirkan arus ke beban sebesar 49,5 mA. Begitu juga sebaliknya, *pointer* tidak menyala pada saat pin *input* berlogika *low* karena tidak ada arus yang mengalir ke beban. Oleh karena itu, dapat ditarik kesimpulan bahwa modul sensor bagian pemancar telah berfungsi dengan baik.

Pengujian modul sensor secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui apakah modul tersebut dapat berfungsi dengan baik terhadap kebutuhan jarak jangkauan. Sistem ini menggunakan jarak antara bagian pemancar dan penerima maksimum sebesar 90 cm. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran pada bagian penerima pada saat disinari dan tidak disinari oleh *laser pointer* pada masing-masing jarak jangkauan. Tabel 13 menyajikan data hasil pengujian jarak jangkauan dari modul sensor.m

Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diperoleh informasi bahwa modul sensor yang dirancang telah berfungsi dengan baik untuk jarak jangkauan yang dibutuhkan. Pada saat disinari oleh *laser pointer*, tegangan *output* yang terukur untuk setiap perubahan jarak jangkauan adalah sebesar 0,19 volt yang merupakan logika

low. Sedangkan pada kondisi tidak disinari, tegangan *output* yang diperoleh sebesar 4,99 volt yang merupakan logika *high*.

Tabel 12. Hasil Pengujian Bagian Pemancar Modul Sensor

Pin Input	Tegangan Input	Status Laser Pointer
Pin 3	<i>Low</i>	Tidak menyala
Pin 3	<i>High</i>	Menyala
Pin 4	<i>Low</i>	Tidak menyala
Pin 4	<i>High</i>	Menyala
Pin 5	<i>Low</i>	Tidak menyala
Pin 5	<i>High</i>	Menyala
Pin 6	<i>Low</i>	Tidak menyala
Pin 6	<i>High</i>	Menyala

Tabel 13. Hasil Pengujian Jarak Jangkauan Modul Sensor

Jarak antara Pemancar dan Penerima (cm)	Tegangan Output Tidak Disinari (volt)	Tegangan Output ketika Disinari (volt)
10	4,99	0,19
20	4,99	0,19
30	4,99	0,19
40	4,99	0,19
50	4,99	0,19
60	4,99	0,19
70	4,99	0,19
80	4,99	0,19
90	4,99	0,19

Pengujian modul mikrokontroler bertujuan untuk melihat apakah mikrokontroler yang digunakan dapat bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan melalui dua cara, yaitu pengujian tanpa program dan pengujian dengan program. Pengujian tanpa program dimaksudkan untuk melihat *output* mikrokontroler pada masing-masing *port* sebelum diisi dengan program. Pengujian menggunakan program dimaksudkan untuk melihat apakah mikrokontroler dapat menjalankan program yang telah di-*download* dengan benar.

Mikrokontroler yang belum terisi program menghasilkan *output* logika *low* atau bit 0 pada *port* 0, dan *output* logika *high* atau bit 1 untuk setiap *port* lainnya. Pengujian tersebut dilakukan melalui pengukuran tegangan keluaran setiap *port*. Hasil pengukuran yang berupa tegangan 4,95 volt merupakan logika *high*, sedangkan tegangan 0,16 volt merupakan logika *low*. Tabel 14 menunjukkan hasil pengujian modul mikrokontroler tanpa program.

Pengujian mikrokontroler berikutnya menggunakan program yang mengontrol logika *high* dan *low* pada setiap *port* secara bergantian dalam selang waktu tiga detik. Pada kondisi awal, status setiap *port* tidak dipengaruhi oleh program selama selang waktu 10 detik.. Pengujian tersebut dilakukan melalui pengukuran tegangan keluaran setiap *port* mikrokontroler.

Tabel 14. Hasil Pengujian Mikrokontroler Tanpa Program

Mikrokontroler	Output
<i>Port</i> 0	00000000
<i>Port</i> 1	11111111
<i>Port</i> 2	11111111
<i>Port</i> 3	11111111

Tabel 15. Hasil Pengujian Mikrokontroler dengan Program

Mikrokontroler	Detik ke-	Output
<i>Port</i> 0	11	11111111
<i>Port</i> 0	14	00000000
<i>Port</i> 0	17	11111111
<i>Port</i> 1	11	11111111
<i>Port</i> 1	14	00000000
<i>Port</i> 1	17	11111111
<i>Port</i> 2	11	11111111
<i>Port</i> 2	14	00000000

Port 2	17	11111111
Port 3	11	11111111
Port 3	14	00000000
Port 3	17	11111111

Hasil pengukuran yang berupa tegangan 4.95 volt merupakan logika *high*, sedangkan tegangan 0.16 volt merupakan logika *low*. Hasil pengujian modul mikrokontroler dengan program dapat dilihat pada Tabel 15. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa mikrokontroler yang digunakan telah dapat menjalankan program dengan benar, sehingga dapat dikatakan bahwa modul mikrokontroler telah berfungsi dengan baik.

Pengujian modul catu daya bertujuan untuk mengetahui apakah catu daya yang dirancang dapat menghasilkan keluaran sesuai dengan kebutuhan. Pengujian tersebut dilakukan dengan dua cara, yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian dengan beban. Pada masing-masing cara pengujian tersebut dilakukan pengukuran menggunakan multimeter pada bagian *output*, dan *oscilloscope* digunakan untuk melihat *level* tegangan *ripple* yang dihasilkan.

Pengujian modul catu daya untuk modul mikrokontroler bertujuan untuk mengetahui apakah modul tersebut dapat menghasilkan tegangan keluaran yang teregulasi dengan baik. Pengujian dimulai terlebih dahulu dengan mengukur tegangan keluaran trafo menggunakan *voltmeter*. Tegangan yang terukur adalah sebesar 10,1 volt. Dioda *bridge* menghasilkan tegangan keluaran yang terukur sebesar 15,1 volt. Nilai tersebut masih memenuhi syarat sebagai masukan *regulator* karena masih berada diatas nilai minimum yang sebesar 8 volt.

Tabel 16. Hasil Pengujian Modul Catu Daya untuk Modul Mikrokontroler dengan Beban

Nilai Beban (ohm)	Tegangan Output (volt)	Tegangan Ripple (volt)	Arus Beban (A)
1000	4,95	0,0015	$4,91 \cdot 10^{-3}$
800	4,95	0,002	$6,17 \cdot 10^{-3}$
400	4,95	0,003	0,014
200	4,95	0,005	0,024
140	4,93	0,006	0,035
68	4,93	0,009	0,065
34	4,93	0,013	0,124
17	4,93	0,017	0,27
13,6	4,93	0,025	0,34
11,3	4,93	0,032	0,41
9,7	4,92	0,046	0,47
8,5	4,92	0,054	0,54
7,56	4,91	0,061	0,60

Pengujian tanpa beban dari modul tersebut menghasilkan tegangan keluaran yang konstan, yaitu sebesar 4,95 volt. Pengujian berikutnya dilakukan menggunakan resistor variabel sebagai beban untuk batasan nilai resistansi 1 k Ω sampai 200 Ω , dan untuk nilai beban yang lebih kecil dari 200 Ω digunakan resistor 10 watt. Data hasil pengujian dengan beban dari modul ini dapat dilihat pada Tabel 16. Pada setiap kondisi pemberian beban, tingkat *ripple* ditentukan menggunakan *oscilloscope* dengan skala amplitudo 5 mV dan *time base* 2 ms. Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diperoleh informasi bahwa catu daya tersebut mampu menghasilkan tegangan keluaran yang teregulasi dengan baik terhadap perubahan beban.

Mikrokontroler AT89S51 memiliki toleransi kebutuhan tegangan antara 4,0 volt sampai dengan 5,5 volt. Mikrokontroler masih dapat menerima tegangan yang dihasilkan oleh catu daya tersebut karena nilai tersebut masih dalam batas toleransi kebutuhan, sehingga dapat disimpulkan bahwa modul tersebut telah berfungsi dengan baik.

Modul catu daya untuk modul sensor berfungsi dalam menghasilkan tegangan keluaran sebesar 4,5 volt untuk kebutuhan *laser pointer*. Pengujian dimulai terlebih dahulu dengan mengukur tegangan keluaran trafo menggunakan *voltmeter*, dan terukur sebesar 10,1 volt. Dioda *bridge* menghasilkan tegangan keluaran yang terukur sebesar 12,41 volt. Nilai tersebut masih memenuhi syarat sebagai tegangan masukan *regulator* karena besarnya masih berada diatas nilai minimum sebesar 8 volt.

Pengujian tanpa beban dari modul tersebut menghasilkan tegangan keluaran yang bersifat konstan sebesar 4,77 volt. Pengujian berikutnya dilakukan menggunakan beban yang berupa resistor 10 watt. Tabel 17 menyajikan data hasil pengujian dengan beban dari modul tersebut. Pada setiap kondisi pemberian beban, tingkat *ripple* ditentukan menggunakan *oscilloscope* dengan skala amplitudo 10 mV dan *time base* sebesar 20 ms.

Tabel 17. Hasil Pengujian Modul Catu Daya untuk Modul Sensor dengan Beban

Nilai Beban (ohm)	Tegangan Output (volt)	Tegangan Ripple (volt)	V_{BE} (volt)	Arus Beban (A)
800	4,40	0,001	0,55	$5,5 \cdot 10^{-3}$
400	4,38	0,001	0,56	$11,8 \cdot 10^{-3}$
140	4,37	0,001	0,57	0,03
68	4,36	0,002	0,58	0,06
34	4,35	0,004	0,60	0,12
17	4,34	0,006	0,60	0,24
13,6	4,34	0,009	0,60	0,30
11,3	4,34	0,015	0,60	0,36
9,7	4,34	0,024	0,60	0,42
8,5	4,33	0,028	0,60	0,47
7,56	4,32	0,035	0,61	0,54
6,8	4,31	0,041	0,61	0,6
4,4	4,30	0,05	0,62	0,9

Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diperoleh informasi bahwa tegangan keluaran yang dihasilkan oleh catu daya tersebut berada pada kisaran nilai yang mendekati 4,5 volt. Tegangan tersebut tidak teregulasi dengan baik karena variasi perubahan nilai V_{BE} untuk setiap kondisi beban. Catu daya ini kemudian digunakan untuk mencatu delapan buah *laser pointer* secara bersamaan dan diperoleh hasil pengujian bahwa semua *laser pointer* tersebut dapat menyala dengan baik. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa modul tersebut telah berfungsi dengan baik.

Tabel 18. Hasil Pengujian Modul Catu Daya untuk Motor *Stepper* dengan Beban

Nilai Beban (ohm)	Tegangan Output (volt)	Tegangan Ripple (volt)	Arus Beban (A)
140	8,08	0,036	0,05
68	7,91	0,044	0,1
34	7,53	0,064	0,21
22,67	7,19	0,069	0,3
17	6,93	0,072	0,38
13,6	6,75	0,076	0,47
11,3	6,58	0,080	0,54
9,7	6,44	0,087	0,63
8,5	6,29	0,091	0,7
7,56	6,11	0,093	0,77
6,8	6,07	0,099	0,83
4,4	5,50	0,12	1,25
2,2	4,73	0,13	1,77
1,1	4,14	0,14	2,73

Pengujian modul catu daya untuk motor *stepper* bertujuan untuk mengetahui apakah modul tersebut dapat menyediakan kebutuhan arus untuk motor. Pengujian tanpa beban menghasilkan tegangan keluaran yang bersifat konstan sebesar 8,82 volt. Pengujian berikutnya dilakukan menggunakan beban yang berupa resistor 15 watt. Tabel 18 menyajikan data hasil pengujian dengan beban dari modul tersebut.

Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diperoleh informasi bahwa catu daya dapat menyediakan kebutuhan arus beban sampai 2,7 A dengan baik. Nilai tersebut masih melebihi kebutuhan arus dari motor *stepper* yang berada pada kisaran 1 A sampai dengan 2 A. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa modul tersebut telah berfungsi dengan baik.

Pengujian modul catu daya untuk modul *hardware* lainnya bertujuan untuk mengetahui apakah modul tersebut dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 5 volt dan 12 volt yang stabil. Dioda *bridge* menghasilkan tegangan keluaran yang terukur sebesar 15,1 volt untuk masukan dari trafo sebesar 10,1 volt dan 21,6 volt untuk masukan sebesar 13,5 volt. Kedua nilai tersebut masih memenuhi syarat sebagai *input regulator* karena berada diatas nilai minimum sebesar 8 volt untuk *regulator* LM7805 dan 15 volt untuk *regulator* LM7812.

Pengujian tanpa beban dari modul tersebut menghasilkan tegangan keluaran yang konstan sebesar 11,96 volt dan 5,01 volt. Pengujian berikutnya dilakukan menggunakan beban yang berupa resistor variabel untuk

batasan nilai resistansi 1 k Ω sampai dengan 200 Ω , dan untuk nilai beban dibawah 200 Ω digunakan resistor 10 watt. Data hasil pengujian dengan beban dari modul ini dapat dilihat pada Tabel 19 untuk keluaran 5 volt dan pada Tabel 20 untuk keluaran 12 volt. Pada setiap kondisi pemberian beban, tingkat *ripple* ditentukan menggunakan *oscilloscope* dengan skala amplitudo 5 mV dan *time base* 2 ms. Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diperoleh informasi bahwa catu daya telah dapat menghasilkan tegangan keluaran yang teregulasi dengan baik untuk setiap perubahan beban. Hal ini berarti bahwa modul catu daya yang dirancang telah berfungsi dengan baik.

Tabel 19. Hasil Pengujian Modul Catu Daya untuk Modul *Hardware* Lainnya dengan Beban untuk Keluaran 5volt

Nilai Beban (ohm)	Tegangan Output (volt)	Tegangan Ripple (volt)	Arus Beban (A)
1000	5,01	0,0015	5.10^{-3}
800	5,01	0,003	$6,24.10^{-3}$
400	5,01	0,004	0,0125
200	5,01	0,005	0,026
140	4,99	0,006	0,035
68	4,99	0,0085	0,068
34	4,99	0,013	0,129
17	4,99	0,0165	0,285
13,6	4,99	0,025	0,35
11,3	4,99	0,031	0,41
9,7	4,98	0,045	0,50
8,5	4,98	0,054	0,55
7,56	4,97	0,060	0,61

Tabel 20. Hasil Pengujian Modul Catu Daya untuk Modul *Hardware* Lainnya dengan Beban untuk Keluaran 12volt

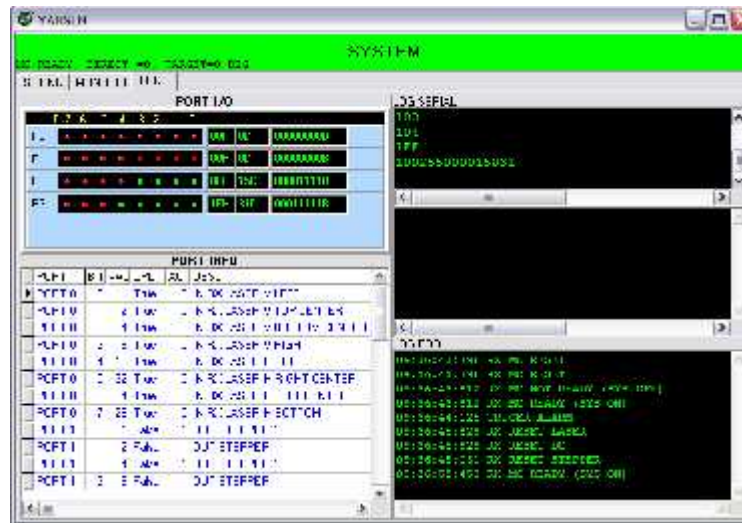
Nilai Beban (ohm)	Tegangan Output (volt)	Tegangan Ripple (volt)	Arus Beban (A)
1000	11,96	0,002	0,012
800	11,96	0,0025	0,015
400	11,96	0,0035	0,031
200	11,96	0,005	0,06
140	11,95	0,0065	0,1
68	11,95	0,008	0,18
34	11,95	0,012	0,37
17	11,95	0,015	0,68

Pengujian sistem keamanan barang berharga dengan *monitoring* melalui jaringan seluler tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang telah dirancang dapat berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian dimulai dengan memilih *driver* kamera yang digunakan. Setelah proses ini dilakukan, hasil *output* kamera dapat diperoleh seperti pada Gambar 7. Tombol “*Start Recording*” ditekan untuk memulai proses merekam dengan hasil berupa file dengan format *.avi*.



Gambar 7. Hasil Web-Camera

Pengujian berikutnya dimulai dengan pengaturan dan pengaktifan *port* pada komputer. Komputer menunggu sampai diterimanya pesan “MC ready (sys on)” dari mikrokontroler. Selama proses ini mikrokontroler melakukan inisialisasi *port* dan *reset data buffer*, *reset* posisi landasan etalase, dan *reset* posisi horizontal kamera ke posisi awal. Setelah semua proses tersebut dilakukan, mikrokontroler mengirimkan pesan “MC ready (sys on)” ke komputer seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Mikrokontroler kemudian mengontrol aktif tidaknya sensor sesuai dengan data dari komputer.



Gambar 8. Menu Monitor untuk “MC ready (sys on)”

Pengujian sistem ini menggunakan beberapa asumsi daerah perpotongan dari kelompok pasangan sensor sebagai target. Daerah tersebut berjumlah delapan buah dan terpisah satu sama lain dalam sudut 45°. Motor *stepper* yang digunakan memiliki spesifikasi 1.8° per *step* putaran. Hubungan antara jumlah *step* putaran dengan sudut pisah daerah perpotongan adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah step} = \frac{45^\circ}{1.8^\circ} = 25 \text{ step}$$

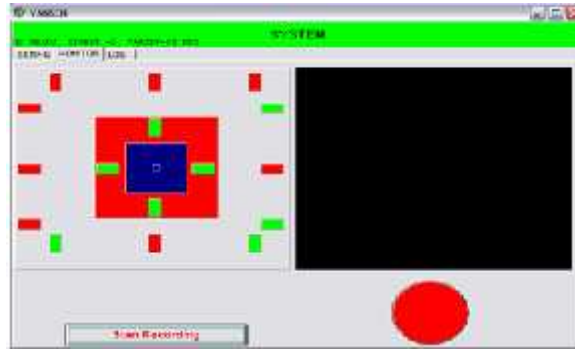
Untuk menjangkau daerah perpotongan yang terpisah dalam sudut 45°, motor memerlukan *step* putaran rotor sebanyak 25 *step*. Sebagai contohnya adalah motor berputar sebanyak 50 *step* untuk menjangkau daerah perpotongan dengan sudut pisah sebesar 90°.

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan memberikan halangan pada kelompok pasangan sensor, misalnya untuk target yang berada pada daerah 2. Posisi dari sensor yang diganggu, sudut target, dan arah putaran motor dapat dilihat pada Gambar 9. Komputer menerima pesan “Alarm Laser” dari mikrokontroler. Motor *stepper* mengubah posisi horizontal kamera menuju ke arah daerah tersebut dengan jumlah *step* putaran sebanyak 50 *step* dalam arah searah jarum jam atau kiri pada hasil *log*. Pada saat sensor menerima halangan, pesan singkat dikirimkan oleh sistem kepada kedua nomor telepon seluler yang digunakan dan diterima dalam waktu 3 detik.

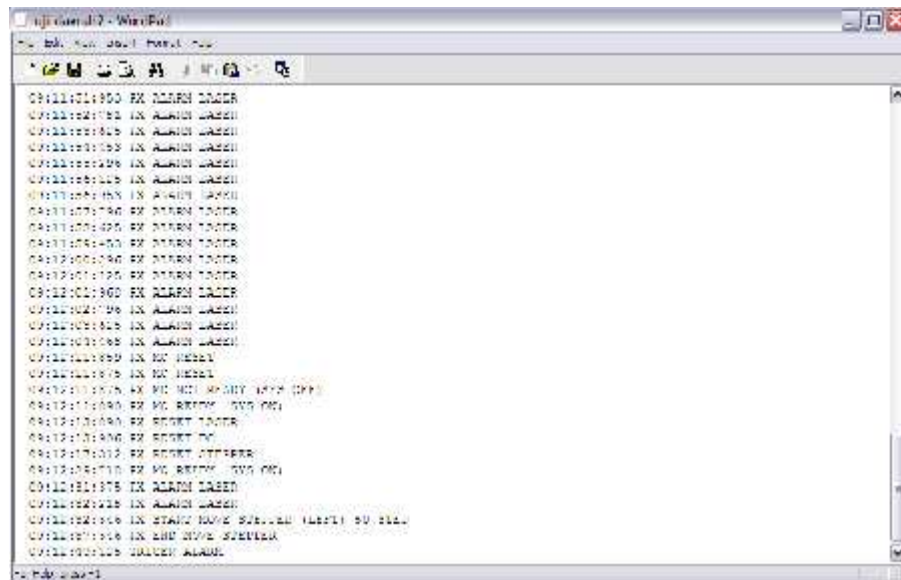
Limit switch pada daerah batas kemudian ditekan untuk mengindikasikan bahwa daerah ini dilewati. Komputer menerima pesan “trigger alarm” dari mikrokontroler. Suara peringatan dihasilkan oleh *buzzer* dan motor DC aktif untuk menggerakkan landasan etalase ke bawah. Begitu juga dengan tanda peringatan pada program aplikasi menjadi berkedip dengan warna merah seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Putaran motor DC menjadi berhenti saat menyentuh *limit switch* bagian bawah. Keseluruhan proses pengujian ini dapat ditunjukkan melalui hasil *log* program aplikasi seperti terlihat pada Gambar 12.



Gambar 9. Menu Monitor untuk Daerah 2



Gambar 10. Tanda Peringatan Menu *Monitor*



Gambar 11. *Log* Program Aplikasi I

Jumlah *step* putaran dari motor dapat diperoleh melalui perhitungan *step* putaran secara manual atau melalui hasil *log* dari program aplikasi. Pada pengujian ini hasil *step* putaran yang diperoleh melalui kedua cara tersebut kemudian dibandingkan. Apabila hasil yang diperoleh adalah sama, maka ini berarti bahwa sistem telah dapat mengubah posisi horizontal kamera terhadap daerah perpotongan dengan benar.

Tabel 21. Hasil Pengujian Sistem I

Daerah Perpotongan Searah Jarum Jam	Step Motor secara Manual	Step Motor pada Software
Daerah 0	0	0
Daerah 1	25	25
Daerah 2	25	25
Daerah 3	25	25
Daerah 4	25	25
Daerah 5	25	25
Daerah 6	25	25
Daerah 7	25	25

Pengujian dimulai dengan memberikan halangan pada sensor untuk daerah 0 sampai daerah 7 secara bergantian satu per satu dalam arah searah jarum jam. Posisi awal *webcam* adalah dalam arah yang sesuai dengan daerah 0. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 21. Hasil *log* dapat dilihat pada bagian Lampiran 2. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah *step* putaran dari motor yang diperoleh melalui kedua cara adalah sama.

Pengujian berikutnya dilakukan dengan urutan target pada daerah 0, daerah 7, dan daerah1 secara bergantian satu per satu. Posisi awal *webcam* adalah dalam arah yang sesuai dengan daerah 0. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 22. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah *step* putaran dari motor yang diperoleh melalui kedua cara adalah sama. Perputaran motor stepper pada sistem ini tidak menuju ke arah target berdasarkan posisi yang terdekat. Perubahan target dari daerah 0 ke daerah 7 menyebabkan perubahan posisi kamera dalam arah searah jarum jam.

Tabel 22. Hasil Pengujian Sistem II

Daerah Perpotongan Searah Jarum Jam	Step Motor secara Manual	Step Motor pada Software	Arah Putaran
Daerah 0	0	0	Tetap
Daerah 7	175	175	Searah jarum jam
Daerah 1	150	150	Berlawanan arah jarum jam

Pengujian berikutnya dilakukan dengan memberikan halangan pada sensor untuk daerah perpotongan yang bebas. Penulis menggunakan urutan pemberian halangan dari daerah 0, daerah 4, daerah 1, daerah 3, daerah 7, dan daerah 5. Posisi awal *webcam* adalah dalam arah yang sesuai dengan daerah 0. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 23. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah *step* putaran dari motor yang diperoleh melalui kedua cara adalah sama.

Tabel 23. Hasil Pengujian Sistem III

Daerah Perpotongan	Step Motor secara Manual	Step Motor pada Software	Arah Putaran
Daerah 0	0	0	Tetap
Daerah 4	100	100	Searah jarum jam
Daerah 1	75	75	Berlawanan arah jarum jam
Daerah 3	50	50	Searah jarum jam
Daerah 7	125	125	Searah jarum jam
Daerah 5	50	50	Berlawanan arah jarum jam

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem telah dapat mengubah posisi horizontal kamera menuju ke arah target pada daerah perpotongan dari kelompok pasangan sensor dengan benar. Informasi gangguan keamanan juga dapat dikirimkan kepada masing-masing *user* melalui layanan pesan singkat. Hal ini berarti bahwa alat sistem keamanan barang berharga dengan monitoring melalui jaringan seluler tersebut telah bekerja dengan baik.

KESIMPULAN

Sistem telah dapat mengubah posisi horizontal kamera menuju ke arah target pada daerah perpotongan dari kelompok pasangan sensor dengan benar. Informasi gangguan keamanan juga dapat dikirimkan kepada masing-masing *user* melalui layanan pesan singkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Deshmukh, A. V., *Microcontrollers [Theory and Application]*, 3rd ed. New Delhi: McGraw-Hill, 2005.
- [2] Boylestad, R., and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*. 5th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1992.
- [3] Prihatini, E. *Aspek Keamanan pada Jalur Komunikasi Short Message Service*. Tesis, Institut Teknologi Bandung, 2006.
- [4] Wasito, *Vademekun Elektronika*, Edisi Kedua, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Umum, 2006.
- [5] Areny, R. P., and J. G. Webster, *Sensors and Signal Conditioning*, 2nd ed. USA: John Wiley, 2000.